

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-065649

(43)Date of publication of application : 06.03.1998

(51)Int.Cl.

H04J 14/00

H04J 14/02

(21)Application number : 08-223332

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 26.08.1996

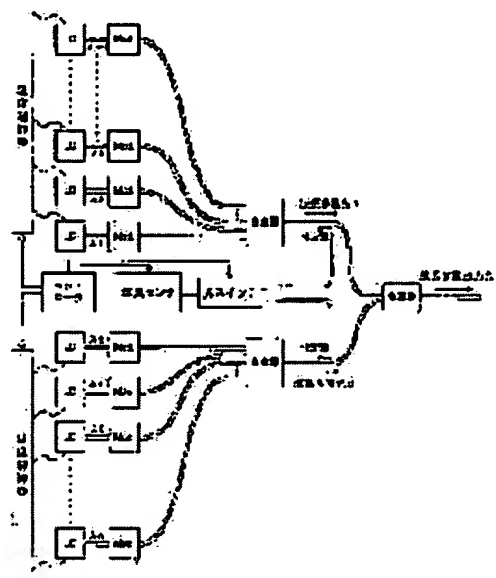
(72)Inventor : YANO TAKASHI

## (54) WAVELENGTH MULTIPLEX OPTICAL TRANSMISSION DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To reduce cost and to improve reliability by keeping the respective wavelength of a light source, which are multiplexed in high density, to be constant with simple constitution and considerably reducing the number of spare light sources provided for the fault of the light source.

**SOLUTION:** A part of the previous light of a final multiplex stage is branched and it is inputted to a collective wavelength sensor through an optical switch. Light beams inputted to the final multiplex stage are arranged so that the wavelength are alternately arranged, for example. Thus, the wavelength intervals of wavelength multiplex light beams which are inputted to the collective wavelength sensor at once are enlarged. In high density WDM (wavelength multiplex communication system) whose wavelength grid is sufficiently narrow against the variable wavelength range of LD(laser diode), a plurality of LD can correspond to one wavelength grid. When LDs of the prescribed wavelength break down, LDs with the oscillation wavelength of standby LDs are sequentially shifted and therefore the number of standby LDs can considerably be reduced.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.08.1996

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 12.10.1999

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of 11-18258  
rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's 11.11.1999  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-65649

(43) 公開日 平成10年(1998) 3月6日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 4 J 14/00  
14/02

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 4 B 9/00

技術表示箇所

E

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平8-223332

(22) 出願日 平成8年(1996) 8月26日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 矢野 隆

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

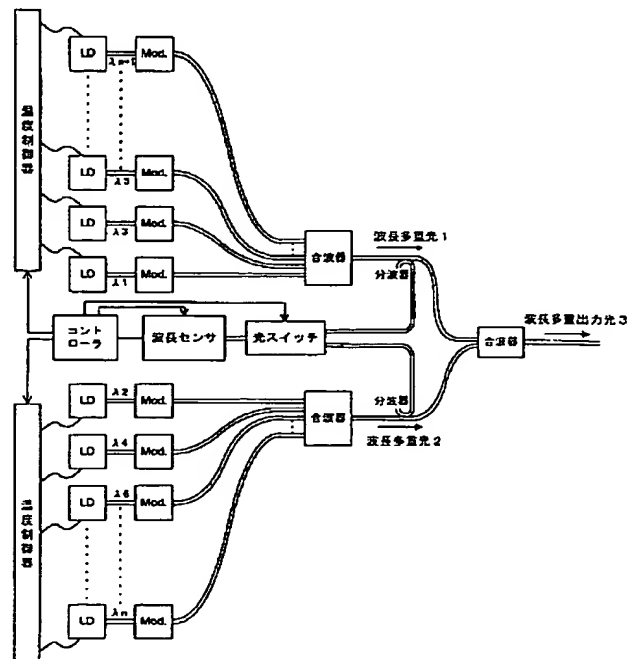
(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

(54) 【発明の名称】 波長多重光送信装置

(57) 【要約】

【課題】 高密度に波長多重する光源の各々の波長を、簡単な構成で一定に保つ。また光源の故障に備えた予備光源の数を大幅に減らして、低コストと高信頼性を両立させる。

【解決手段】 最終多重段の前の光を一部分岐し、光スイッチを通して一括波長センサに入力する。最終多重段に入力する光は、例えばその波長が交互に並ぶように配列する。このようにして、一括波長センサに一度に入る波長多重光の波長間隔を広くする。またLDの可変波長範囲に対して波長gridが十分狭い高密度WDMにおいては、1つの波長gridに複数のLDが対応可能であるので、ある波長のLDが故障した場合、予備のLDの発振波長との間のLDを順にシフトさせることにより、予備LDの数を大幅に減らす。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】出力光の波長の制御手段を備えた波長可変光源であり、

互いに異なる値に波長が設定された複数の波長可変光源と、

この複数の変調光を段階的に合波する合波手段と、からなる波長多重技術を用いた光送信装置であって、前記合波手段の出力する波長多重光の一部を分岐する分波器を備え、

この分波器の出力光を入力とし、

この波長多重光に含まれる前記複数の波長に対応した信号を出力する、波長測定手段と、

この複数の波長測定値の、前記複数の光源のそれぞれの波長設定値に対する誤差を算出して、

前記複数の光源の波長制御手段にそれぞれ負帰還する手段を有することで波長安定化機能を備えた波長多重光送信装置であって、

前記波長測定手段の入力となる波長多重光の一部分岐光において、

この一部分岐光中に含まれる波長と波長の間隔の最小値が、前記波長測定手段の最小波長分解能よりも広くなるように設定されることを特徴とする、波長多重光送信装置。

【請求項2】上記一部分岐光において、

前記複数の光源からの光が、複数の前記一部分岐光の中のいづれかに含まれるように設定されていることを特徴とする、請求項1記載の波長多重光送信装置。

【請求項3】上記複数の波長多重光の一部分岐光を光スイッチ手段に入力して、

そのうちの1つの一部分岐光を前記波長測定手段に時分割で入力して波長測定することを特徴とする、請求項2記載の波長多重光送信装置。

【請求項4】出力光の波長の制御手段を備えた波長可変光源であって、

この波長が互いに異なる値に設定された複数の波長可変光源と、

この複数の変調光を段階的に合波する合波手段と、からなる波長多重技術を用いた光送信装置であって、

前記複数の波長設定値の各々が、それぞれ複数の波長可変光源の波長可変の範囲内に入っている波長多重光送信器において、

ある波長の光源が故障した場合に、

故障した光源の波長と、予備の光源の波長との間に存在する光源の波長を順次ずらすことによって、元の波長設定値に復帰することで光源故障に対する回復を行う機能を備えたことを特徴とする、波長多重光送信装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】波長多重光通信システムにおける、送信光源の波長安定化、および故障光源の回復手

段に関する。

## 【0002】

【従来の技術と発明が解決しようとする課題】波長多重通信方式(WDM:Wavelength Division Multiplexing, 光周波数多重通信方式と同義)とは、送信側では、波長の異なる複数の光に、各々異なるチャネルのデータ変調を施した後、合波器で波長多重して光ファイバ伝送路に送出し、受信側においては、受信した波長多重信号光から、光バンドパスフィルタ(以下OBPF:Optical Band Pass Filter)などの波長選択手段を用いて、所望の波長の光だけを分波し、光受信して元のデータを復調する方式である。

【0003】波長多重方式は、光ファイバ伝送路1本あたりの伝送容量を飛躍的に増大する技術として、近年活発に研究開発されてきている。商用化が最初に見込まれている波長帯域は、エルビウム添加光ファイバ型増幅器の増幅波長帯域である1.53~1.56 $\mu$ mである。

【0004】<波長安定化の従来技術>波長多重方式では各チャネルの識別は波長で行われるので、波長とチャネルの対応関係を送信側と受信側とで整合させる必要があることは言うまでもない。またわずかな波長の揺らぎであっても、隣接の信号光波長と重なって光干渉が生じると、符号誤り率特性に甚大な劣化を与える。そこで光源波長の安定化が必要となる。その典型的な従来技術を図8の構成図で説明する。この図は、H. Toba and K. Nosu, "Optical Frequency Division Multiplexing Systems", IEICE TRANS. COMMUN., vol. E-75-B, no. 4, pp. 243-255, 1992に示されたものを分かり易く簡略化したものである。

【0005】その仕組みは以下のようなものである。LD(Laser Diode)から出力された、互いに波長の異なる複数の光は、合波器で波長多重される。その波長多重光の一部を波長センサに導く。波長センサで得た実際の波長値と波長設定値との差をLDの温度や駆動電流に負帰還して波長を設定値に保つ、というものである。ここで用いる波長センサは、波長に対して弁別特性を示すものであり、典型的にはFabry-Perot共振器やリング共振器などの光共振器や回折格子が用いられている。これらは固定型だけでなく掃引型も用いられる。また光共振器以外には、波長可変光源とのビートを検出するものや、可変光遅延器を備えた光干渉計を用いて光干渉インタフェログラムを測定し、それを逆フーリエ変換して光スペクトル情報を得るものなどがある。

【0006】この波長センサには、波長多重した光を入力して、その中に含まれる個々の波長を測定できるものが望まれる。一般に光スペクトルアナライザと呼ばれる測定器がこれに該当する。もしこれが不可能であると、

波長多重する前の光を各々一部分岐し、N入力1出力の光スイッチによって一つ一つ切り替えながら波長センサに入力して個別に波長をモニタしなければならず、構成が大幅に複雑・高価になる。光源から合波器の間の異常を検出するためにも、波長多重された光をモニタする方が好ましい。

【0007】ただしこのような一括波長センサでは、各々の波長値は時間的に離散的にしか得られない。これに対しては、一度得た負帰還信号を、次に負帰還信号が得られるまで保持する機構を持たせることで対処可能である。温度調整機構つきLDを含む一般的な波長可変光源では、入力された波長設定値を保持する機構を備えているのが普通である。つまり、比較的早い波長ゆらぎを安定化する機構は、個々の波長可変光源がそれぞれ備えており、それらに対して波長設定値を与えることにより、ゆっくりとした波長変動を抑えるのがこの波長安定化システムの役割である。

【0008】<従来の波長安定化法の課題>多波長を一括して測定できる波長センサは、構成の簡略化に有効であるが、分解能限界の問題がある。例えば回折格子を用いた一般的な光スペクトルアナライザでは、約0.1nm(約12.5GHz at 1.55 $\mu$ m)以下に近接した2波長は分別できない。また、個々の光のスペクトルはデータ変調によって広がるため、さらに判別しにくくなる。これらのために、従来の方法では波長間隔を極限まで狭めた高密度の波長多重では、各々の波長を判別できなくなるという問題がある。

【0009】<故障光源の回復方法の従来技術>基幹の大容量光通信システムなどでは、万が一の故障に対する予備の用意が必要とされる。光通信用光源であるLDは他の電子部品と比較して特に早く劣化してしまうケースが稀にあるため、バックアップ光源が不可欠である。しかし光送信器のコストのかなりの部分を光源が占めるため、特に波長多重光送信器の予備光源の用意は重要な問題である。波長の数だけ予備光源を用意すれば高コストになるので、予備光源の共通化による個数削減が望まれる。

【0010】これに対して波長可変光源を予備光源とする技術が、特許第01538708号(出願番号特願昭58-131370号)「波長多重光送信装置」に述べられている。ここでは、一般的な光源であるLD(Laser Diode)の波長が素子温度によって変化することを利用して、バックアップLDの波長を、故障したLDの波長と一致させて復旧をはかる、という技術が公開されている。

【0011】ちなみに、温度や駆動電流値によってLDの発振波長を制御すること自体は、例えば「コヒーレント光通信工学」(大越・菊池共著、オーム社、1989年)の116頁(4章1節[2]周波数安定化)に述べられているように、前記の特許が出願される以前から公

知の技術である。

【0012】<従来の故障光源の回復方法の課題>特許第01538708号に述べられているような、温度や駆動電流値によってLDの発振波長を変化させることによるバックアップ光源の共通化策は、有効であるが、可変波長範囲が狭いのが難点である。現在、光源として一般に用いられているDFB(Distributed Feedback)LDでは、温度による波長の変化率は約0.07nm/℃程度であり、現実的な可変範囲は2.5nm程度である。駆動電流による変化はこれより数段小さく、また一般には出力が一定となるように電流値は制御されている。

【0013】このことからこの方法では少なくとも2.5nm間隔で予備光源を用意する必要がある。その説明を図9で行う。横軸は波長である。一番上に黒丸(●)で表されている、波長gridというのは、送信側と受信側で取り決めた波長チャネルである。光送信器では、このgridに合うように送信光波長を調節する。一方、白丸(○)は室温でのLDの発振波長である。一般にLDの発振波長は、暖めると長波側に、冷却すると短波側にシフトする。そうして得られる波長可変範囲を横棒で示している。LDは熱に弱いので冷却方向の方が負担が少なく、可変範囲も広く取れる。

【0014】ここで図9を見れば分かるように、バックアップ光源は、その可変波長範囲が切れ目なく続くように用意しておく必要があり、可変範囲に比べて使用帯域が広いとやはり多数のバックアップLDを必要とする。例えば上記のDFB LDでは、30nmの使用帯域に対して最低12個のバックアップLDが必要である。

【0015】一方、外部鏡共振器レーザや、波長を大きく変化させる機構を備えたLDなど特殊なレーザを用いれば、広い波長可変範囲を得ることができるが、そのような波長可変レーザは一般に高価であり、また波長可変範囲が広いがゆえに波長の安定性や信頼性に欠けることが多いという問題がある。

【0016】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の発明は、出力光の波長の制御手段を備えた波長可変光源であり、互いに異なる値に波長が設定された複数の波長可変光源と、この複数の変調光を段階的に合波する合波手段と、からなる波長多重技術を用いた光送信装置であって、前記合波手段の出力する波長多重光の一部を分岐する分波器を備え、この分波器の出力光を入力とし、この波長多重光に含まれる前記複数の波長に対応した信号を出力する、波長測定手段と、この複数の波長測定値の、前記複数の光源のそれぞれの波長設定値に対する誤差を算出して、前記複数の光源の波長制御手段にそれぞれ負帰還する手段を少なくとも備え、波長安定化を行うことができる波長多重光送信装置であって、前記波長測定手段の入力となる波長多重光の一部分岐光において、この一部分

## 5

岐光中に含まれる波長と波長の間隔の最小値が、前記波長測定手段の最小波長分解能よりも広くなるように設定されることを特徴とする、波長多重光送信装置である。

【0017】第2の発明は、第1の発明の一部分岐光において、前記複数の光源からの光が、複数の前記一部分岐光の中のいずれかに含まれるように設定されていることを特徴とする、波長多重光送信装置である。

【0018】第3の発明は、上記複数の波長多重光の一部分岐光を光スイッチ手段に入力して、そのうちの1つの一部分岐光を前記波長測定手段に時分割で入力して波長測定することを特徴とする、第2の発明の波長多重光送信装置である。

【0019】第4の発明は、出力光の波長の制御手段を備えた波長可変光源であって、この波長が互いに異なる値に設定された複数の波長可変光源と、この複数の変調光を段階的に合波する合波手段と、からなる波長多重技術を用いた光送信装置であって、前記複数の波長設定値の各々が、それぞれ複数の波長可変光源の波長可変の範囲内に入っている波長多重光送信器において、ある波長の光源が故障した場合に、故障した光源の波長と、予備の光源の波長との間に存在する光源の波長を順次ずらすことによって、元の波長設定値に復帰することで光源故障に対する回復を行う機能を備えたことを特徴とする、波長多重光送信装置である。

【0020】(作用)

<波長安定化システム>最終波長多重段の前の光を一部分岐し、光スイッチを通して波長センサに入力する。最終多重段に入力する波長多重光は、そこに含まれる波長が、例えば交互に並ぶように配列する。これにより例えば最終的に等波長間隔に多重する光送信器で、最終段の多重数が4の場合には、最終多重段に入力する光の波長間隔は最終的な波長間隔の4倍となり、波長のオフセット値のみシフトした配列にする。こうすることで、波長センサで容易に各々の波長を分解して認識し、波長を測定することができる。

【0021】<光源故障の回復法>LDの可変波長範囲に対して、波長gridが十分狭い高密度WDMにおいては、1つの波長gridに複数のLDが対応可能であるので、ある波長のLDが故障した場合、予備のLDの発振波長との間のLDを順にシフトさせることにより、予備LDの数を大幅に減らすことができる。

【0022】

【発明の実施の形態】

<請求項1から3の発明の実施例>請求項1から3の発明を適用した波長安定化システムを説明する第1の実施例を以下に説明する。

【0023】図1はその構成図である。波長多重を一気に行わず段階的に行う。そして最終的に1本に多重する直前で、それらの一部を分岐し、光スイッチを通して波長センサに入力する。最終多重段に入力する光は、図2

## 6

のように波長が交互になるように配列する。この例では、波長センサに入る波長数が半分になり、波長間隔が倍になる。そのため、極限まで波長間隔を狭めた高密度波長多重においても、各波長の判別が可能となり、安定に波長安定化を行うことができるようになる。

【0024】第1の実施例では、1530nmから1560nmに渡って0.32nmの等間隔で94波の波長多重を行っている。光源は従来技術で説明したDFB LDであり、その波長可変範囲は約2nmであった。各々のLDには温度一定制御器と出力一定制御器が備わっている。光変調器では各々10Gb/sの疑似ランダムパターンで光強度変調を行った。波長 $\lambda_i$ は短波長から順に並べられており、 $\lambda_1, \lambda_3, \lambda_5, \dots$ が波長多重光1に、 $\lambda_2, \lambda_4, \lambda_6, \dots$ が波長多重光2に波長多重される。光スイッチには2入力1出力の機械式のものをを用いた。物理的に光路を切り替えるので、波長依存性、偏光依存性、再現性、安定性などに優れている。この光スイッチはTTLレベルの電圧信号で切り替わり動作する。波長センサには、可変光遅延線を備えたマイケルソン干渉計で光干渉インタフェログラムを測定し、それをFFT(高速フーリエ変換)して光スペクトルを得る仕組みの波長計を用いた。その分解能は約40GHzである。絶対波長は内部に持つHeNeレーザを基準にしてあり、その絶対精度は約1GHzである。最終的な波長多重出力光3の波長間隔は約40GHzであるから、そのままでは波長計の分解能に比べて全く余裕がなく、データ変調のため光スペクトルが広がっていることもあって、わずかな波長ズレで波長が分離できなくなり、安定に動作しない。しかし波長多重光1、2の波長間隔は約80GHzであり、余裕を持って波長を識別・測定できた。

【0025】コントローラには、パーソナルコンピュータ(Personal Computer以下PC)を用いた。光スイッチの切り替えと波長計の掃引を同期させ、波長多重光1、2を交互に測定させた。波長計の1掃引に約2秒、データ転送に約0.5秒を要し、その他の処理時間を含めて2つの入力光の測定を行う1サイクルは10秒弱で行われた。この速度は、温度を一定に保った室内における熱平衡に達した装置では十分すぎるほど早いので、タイマ動作させ、180秒に1回この動作を行わせたところ、十分な波長安定度を得た。

【0026】この例では、等波長間隔に多重したが、本発明は不等波長間隔にも適用できることは言うまでもない。すなわち、最終多重段に入力する各々の波長多重光の波長間隔が波長センサの分解能よりも広くなるように個々の光源の波長を設定すればよい。最終多重段の前で既に波長間隔が波長センサの分解能を下回る場合は、上回るまで遡った所の光をモニタするようにし、適宜光スイッチの入力光を増やせばよい。

【0027】波長可変光源には、例えば1552.12

3nmというように設定波長値を絶対的な波長値で指定できる物と、絶対的な波長とは関係ないが、波長と一意の関係にある信号で指定するものがある。第1の実施例で用いたような、一般的な温度調整機構つきLDは後者に属す。

【0028】後者の光源を本発明に用いる場合は、装置の運用開始時に各光源の波長を個別に測定する必要がある。なぜなら、通常運用中は波長多重された光を波長センサで測定するため、どの波長がどの光源から出たものかを把握しないと負帰還制御先が分からないからである。また、複数の光源の波長の初期値が重なってしまうと、波長センサはそれを1つの光源と判別してしまうという問題もある。ただし後者の問題は光源と波長の対応関係を一度把握してしまえば避けられるので、運用上の問題とはならない。

【0029】装置の立ち上げ時や、万が一複数の光源が1つの波長に重なって波長センサで判別できなくなってしまう場合などに、光源と波長との対応関係を得る方法としては次のようなものがある。まず全ての波長可変光源の波長制御部への入力を初期値に設定する。初期波長設定値の一例としてはそれぞれの波長可変域の中央が挙げられる。次に光源を順番に1つだけOnして、それぞれの波長を測定し、マイクロコンピュータなどに順次記憶させていけばよい。図1のような構成であって、光変調器が強度変調器である場合は、光源は全てOnにしておき強度変調器で1つの光源の光だけを出力するようにしてもよい。

【0030】第1の実施例ではこの方法を用いた。波長grid数である全波長数と、波長計から報告される波長数とが一致するかどうかを常にチェックさせ、万一異なった場合は、光源と波長の対応関係を再調査するようにプログラムした。この調査によっても波長数が設定波長数と異なる場合は、光源の故障が疑われるので、警報を出力するようにした。

【0031】次に請求項1の発明を説明する第2の実施例を以下に説明する。

【0032】第1の実施例では、波長多重する全ての光源からの光を波長測定手段まで導いたが、必ずしも全ての光源の波長を波長測定手段まで導かなくともよい。例えば特開昭60-242739号公報「周波数多重光送信装置」に開示されている技術を用いることによって、1つの光源の波長を基準とし、そこから一定の波長間隔を保つ複数の光源の組を得ることができる。構成を図3で、波長設定を図4で説明する。

【0033】光源1, 2, 3の出力光の一部を分岐し、それら分岐光を合波して光検出器に導き、干渉させる。そこで互いの波長差に応じたビート周波数を検出し、光源1と光源2のビート周波数が $\Delta f a = 1.3 \text{ GHz}$ 、光源1と光源3のビート周波数が $\Delta f b = 1.4 \text{ GHz}$ となるように、光源2, 3の温度に負帰還する。これを局所

的波長ロック機構と呼ぶ。同様に光源4, 7, 10を基準に、光源5, 6, 8, 9, 11, 12の出力光波長をロックする。これらのビート周波数も図4に示すようにいずれも1.3GHz, 1.4GHzとした。

【0034】一方、光源1, 4, 7, 10の出力波長は第1の実施例と同様に波長安定化される。結果として、全ての光源の波長が安定化される。

【0035】本実施例も第1の実施例と同様に、実際の波長多重間隔よりも広い波長間隔の波長多重光を波長センサに導き、波長を測定しているため、分解能の制約が大幅に緩和される特徴がある。

【0036】以上の実施例では、波長測定手段として波長計を用いたが、従来技術で述べたような他の波長測定手段でも構わない。また波長多重する光のうち、波長安定化をしなくてよい光源は、以上説明してきたような波長安定化システムに組み入れる必要のないことは言うまでもない。

【0037】<請求項4の発明の実施例>請求項4の発明である、故障光源の回復方法を説明する第3の実施例を以下に説明する。

【0038】図5のa)～b)で説明する。前述のように、横軸が波長で、一番上の黒丸(●)がWDM grid、その下が現用(working)のLD、最下段がバックアップ用LDの室温での波長(O)とその可変波長範囲を示す。近年活発に検討されるようになった高密度WDMでは、1つのLDの可変波長範囲の中に複数のgridが存在できる。逆を言えば1つのgridに複数のLDが対応できる。そこで新たなバックアップ方法が可能となる。

【0039】図5a)で、1つのgridに対して2つ以上のLDが対応可能になっている。この関係が続いている波長区間を1つのグループとする。図では(1～3), (4～7), (8～9)がそれぞれグループになっている。その関係がとぎれた部分にのみバックアップLDを用意する。

【0040】第3の実施例の実験では、波長gridを1530nmから1540nmの間に1nmの間隔に設定した。すなわち $\lambda_i = 1530 + i \text{ [nm]}$ である。本実験は、第1の実施例の実験と同じ装置を用いて行った。その光源はDFB LDであり、波長可変範囲は室温の波長から短波側に約1.3nm長波長側に約0.7nmの合わせて約2nmであった。各LDの室温(25℃)での波長のデータはPCに全て記憶されている。また、事前の予備実験から温度に対する波長変化率を一律0.067nm/℃とし、温度の可変範囲を5～35℃としているため、前述の約2nmの波長可変範囲が得られる。

【0041】まず、図5a)の状態になるように波長gridとLDとを対応させた。説明の便宜上 $\lambda_i$ を出力するLDをLD $i$ と呼ぶ。またバックアップLDであるBLD $i$ を1532.5nm, 1535.6nm, 153



9. 5nmにそれぞれ配置した。これは既に説明したように、グループとグループの境目の波長である。

【0042】本発明の動作を(4~7)のグループの中のLD5が故障したケースで説明する。まずBLD2を現用とし、 $\lambda 7$ に割り当てる。LD7は $\lambda 6$ に、LD6は $\lambda 5$ に、と順にシフトさせ、最終的に図5のb)となって、再び全ての波長の光源が揃い、故障状態から復帰できる。このような動作は全てPCで自動的に行われる。実際、LD5の出力光ファイバコネクタを故意に外したところ、上記の手順で故障状態から復帰した。LD5に相当する波長のLDが入手できたら、逆のシフトをして再びBLD2をバックアップ状態にすればよい。

【0043】このようなバックアップ方法によって、予備光源の数を大幅に減らすことができる。この例では波長間隔が1nmであったためそれほど顕著ではないが、それでも従来の方法では最低5個のバックアップLDが必要なのに対して、本実施例では3個で済んでおり、さらに現用LDの選択を工夫して10波長が全て1グループになるようにすれば1個まで減らすことができる。

【0044】波長のシフトの最中は、当該光源の波長の情報を頻繁に得る必要があり、それには波長シフトを行っている時間内だけ、波長センサの測定範囲を注目している波長域に集中させ、その他の波長を測定する頻度を少なくすればよい。装置を稼働して一定時間経過すれば、装置全体が熱平衡に達するため、負帰還の周波数を低くしても波長の精度を維持できる。実際、本実施例でもそのような仕組みをプログラムに取り入れた。前述のLD5の回復実験では、普段はタイマ動作により1サイクル180秒であるが、故障回復のために波長シフトが始まると、その波長範囲だけをタイマ動作なしに掃引し、温度を負帰還制御した。その1サイクルは約3秒であり、波長が全て復旧するまでの時間は約90秒であった。

【0045】本実施例は、1つの波長gridに対して2つの光源が対応可能な場合であったが、1つの波長gridに3つ以上の光源が対応可能な場合は本発明はより有効となる。この場合は、光源をシフトする方向は短波長側、長波長側両方とも可能なので、故障した光源と波長差が小さいバックアップ光源との間でシフトを行うのが好ましい。例えば、図5で先ほどと同じようにLD5が故障した場合、最も波長差の小さいのはBLD1であるから、もしLD4も $\lambda 5$ を出力できるのであれば、LD4 $\rightarrow\lambda 5$ 、BLD1 $\rightarrow\lambda 4$ というようにシフトしていくと、シフトするLDの数が少なくて済む。

【0046】第3の実施例では、故障したLDからバックアップLDまでの波長範囲のチャンネルは全て一度別のチャンネルに回避しなければならない。そこで回避しなければならないチャンネルを最小限にする工夫を施したのが第4と第5の実施例である。

【0047】第4の実施例は、受信側で波長の自動追尾

をさせる方法である。送信側が波長シフトを行う際に、受信側でその波長を追尾すれば、データの欠落なしにシフトが行える。例えば、図5のa)からb)への推移は次のようになる。まずLD6の波長が $\lambda 5$ へ、LD7の波長が $\lambda 6$ へそれぞれシフトしていく。それと同期して受信側では今まで $\lambda 6$ を選択してきたOBPFが $\lambda 5$ へ、 $\lambda 7$ を選択してきたOBPFが $\lambda 6$ へ連続的にその選択波長をシフトさせる。このような手順の結果、データの一時欠落が生じるのは、故障した $\lambda 5$ -LD5のチャンネル以外では、 $\lambda 7$ -LD7のチャンネルだけとなる。

【0048】受信側での自動追尾法は、透過波長可変OBPFの中心波長をディザ(dither)し、透過光の平均パワーを同期検波してOBPFの中心透過波長と信号波長との差を検出してOBPFの中心透過波長に負帰還して追尾させる方法が一般に用いられている。

【0049】第5の実施例は、予備チャンネルを使う方法である。図6のa)~d)で説明する。初期状態は図6a)である。ここでは、 $\lambda 1$ の光源をLD1からLDs t b yに切り替える動作を説明する。まず、図6b)のように、 $\lambda t m p$ に一時回避用のチャンネルを用意し、チャンネルA(図中c h. A)を一時回避させる。次に図6c)のように、LD1をOffし、バックアップ用のL S s t b yをOnして波長を $\lambda 1$ に調節する。最後に図6d)のように、一時回避していたチャンネルAを元に戻す。これでLD1がバックアップ状態になったので、同様の操作を繰り返せばLD2とLD1を入れ替えることができる。このようにして順番に入れ替えていくことが可能である。

【0050】この場合、チャンネルと波長グリッドの対応を送受信側とも同時に切り替える必要がある。それには、特開昭59-086929号公報「光伝送方式」で技術開示されているような構成を用いればよい。図7に構成の一例を示す。送受信とも各チャンネルは、 $\lambda t m p$ チャンネルとだけ入れ替えるスイッチを備えればよく、大規模なスイッチ回路網は要しない。

【0051】一時回避に用いるチャンネルは同一ファイバに波長多重された $\lambda t m p$ チャンネルに限らず、送受信器を結ぶチャンネルであれば種類が限定されないのは言うまでもない。例えば別の光ファイバを経由するチャンネルでもよい。

【0052】故障チャンネル以外のチャンネルのデータの欠落を防ぐには、無瞬断切り替えスイッチを用いればよい。

【0053】

【発明の効果】高密度の波長多重送信器においても、請求項1から3の発明により、波長安定化が簡単・安価に実現可能となる。

【0054】また請求項4の発明により、光源の故障に備えた予備光源の数を大幅に減らすことができ、低コストと高信頼性を両立できるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】請求項 1 から 3 の発明を説明する第 1 の実施例の構成図。

【図 2】請求項 1 から 3 の発明を説明する第 1 の実施例の波長配置の説明図。

【図 3】請求項 1 の発明を説明する第 2 の実施例の構成図。

【図 4】請求項 1 の発明を説明する第 2 の実施例の波長配置の説明図。

【図 5】請求項 4 の発明を説明する第 3 の実施例の波長配置の説明図。

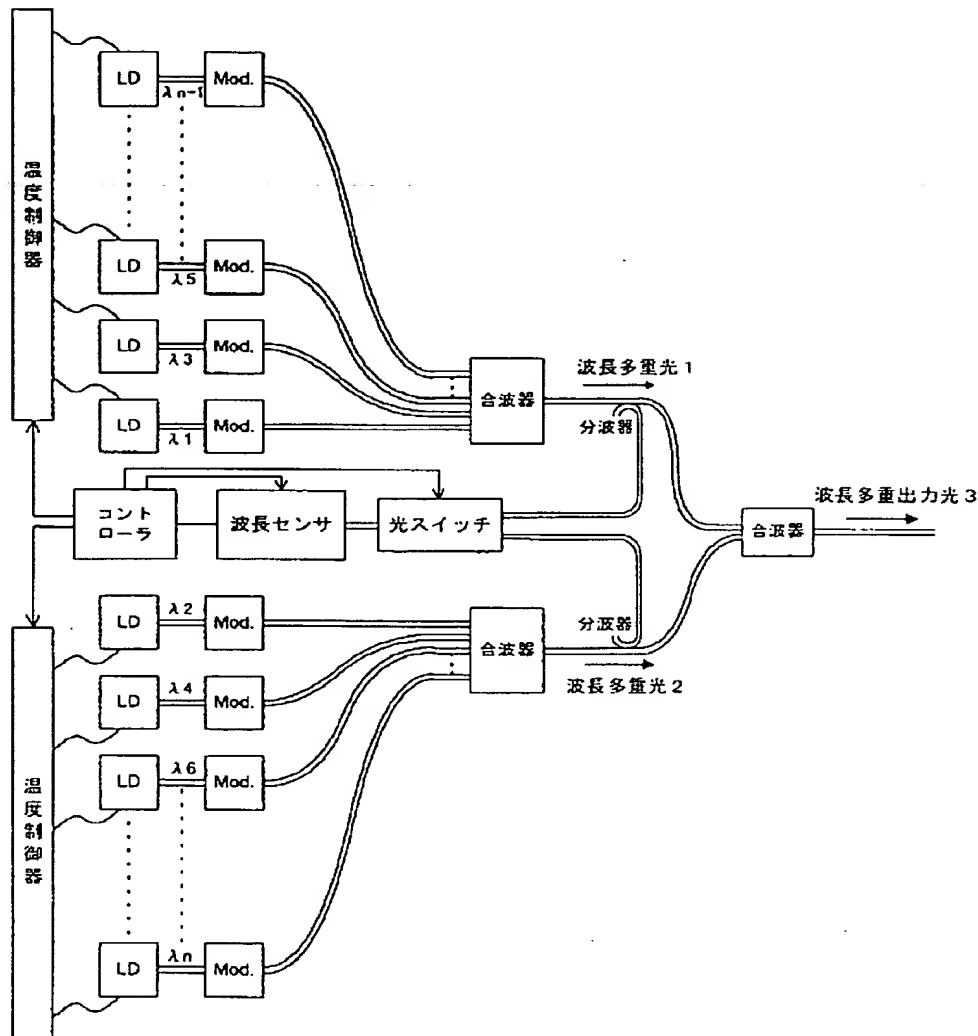
【図 6】請求項 4 の発明を説明する第 5 の実施例の動作説明図。

【図 7】請求項 4 の発明を説明する第 5 の実施例の構成図。

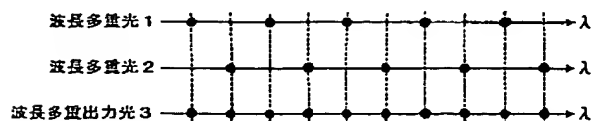
【図 8】従来の波長安定化システムの構成図。

【図 9】従来の故障光源の回復法の説明図。

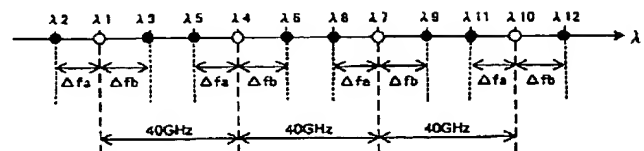
【図 1】



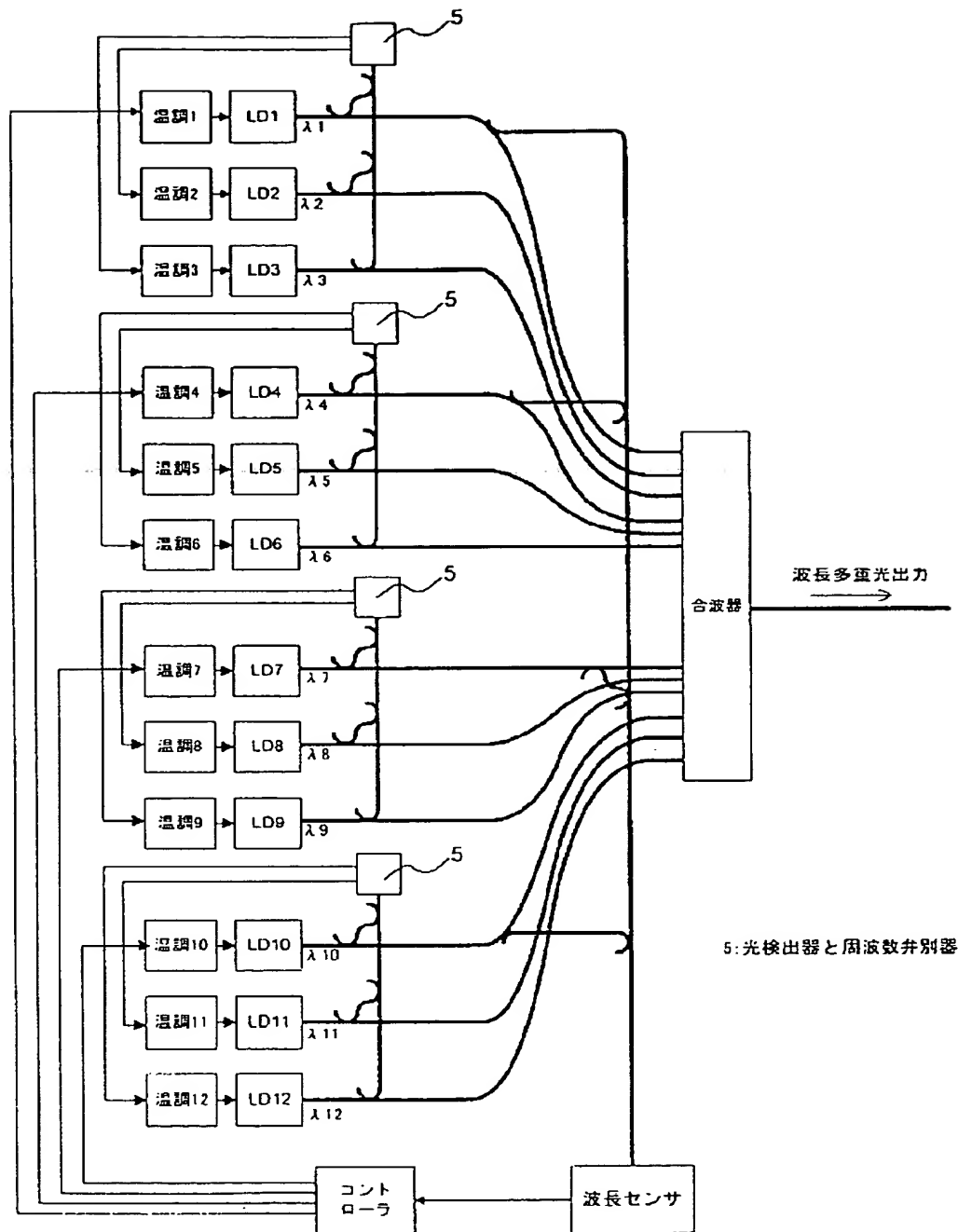
【図 2】



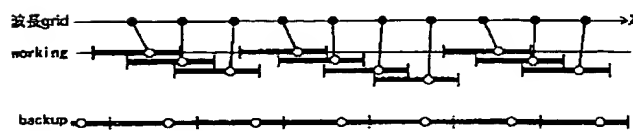
【図 4】



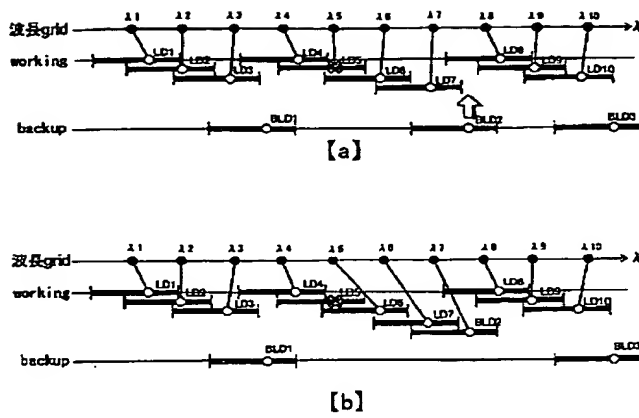
【図3】



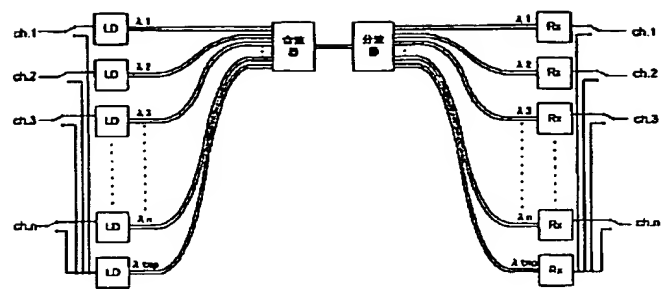
【図9】



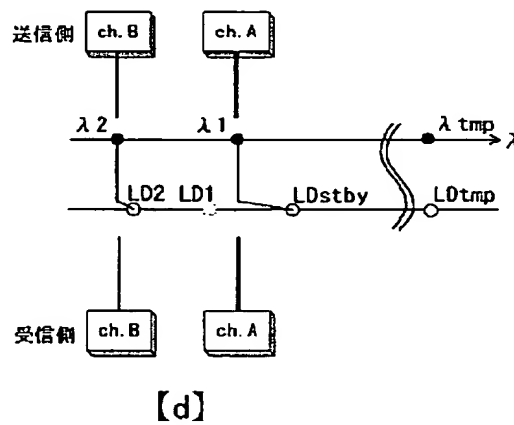
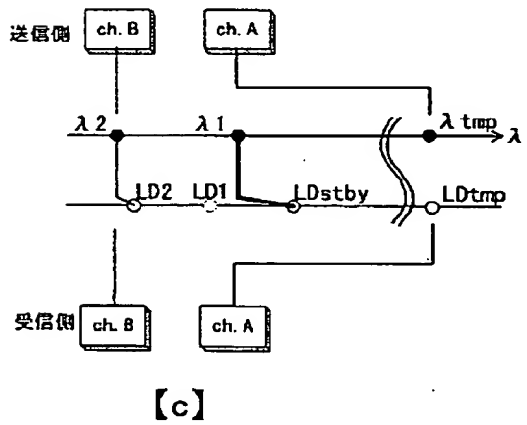
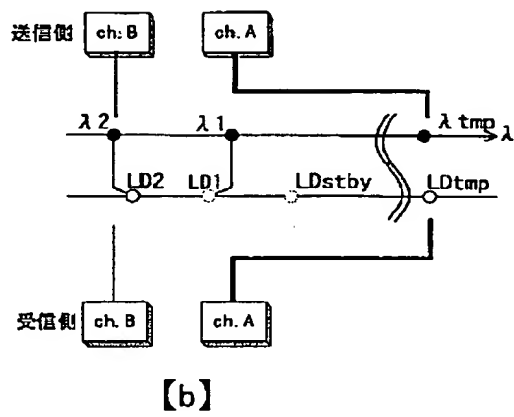
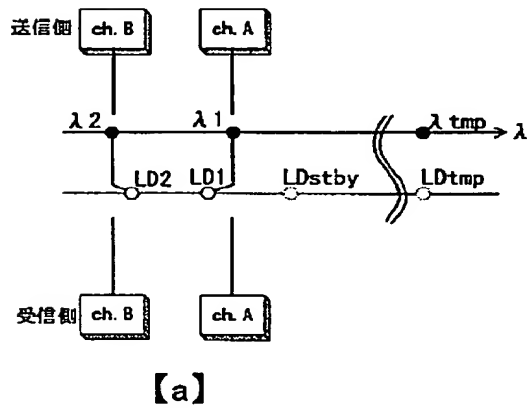
【図 5】



【図 7】



【図 6】



【図 8】

